

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-166818

(43)Date of publication of application : 22.06.1999

(51)Int.Cl.

G01B 11/24
G06T 7/00

(21)Application number : 09-349952

(71)Applicant : SUZUKI MOTOR CORP

(22)Date of filing : 04.12.1997

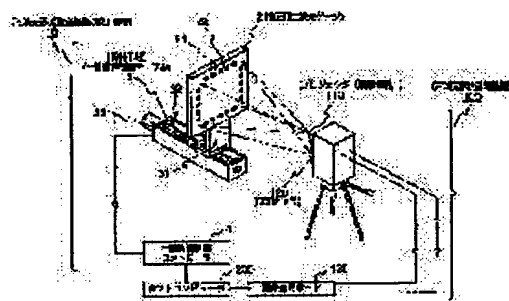
(72)Inventor : BUSHI MASAMI

(54) CALIBRATING METHOD AND DEVICE FOR THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASURING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance the accuracy of calibration.

SOLUTION: This method calibrates a three-dimensional shape measuring device 100 having an illuminating mechanism 110 illuminating a subject for measurement with a pattern beam, a camera 120 for photographing the subject for measurement, and a calculation means 130 for calculating three-dimensional image data from the image taken. In this case, a gauge 2 with a plurality of indexes 22 in a known arrangement on a plane 21 is moved plural times by known amounts of movement, and an illuminating beam is applied to the plane 21 of the gauge 2 at each movement to photograph the plane 21. A camera parameter is calculated from position coordinates on a three-dimensional coordinate system shown by each index 21 and from position coordinates on the two-dimensional coordinate system of a taken image which correspond to the above position coordinates, and a projector parameter is calculated from position coordinates on the three-dimensional coordinate system and from position coordinate on a one-dimensional coordinate system on which the positions of the position coordinates on the three-dimensional coordinate system are illuminated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-166818

(43) 公開日 平成11年(1999) 6月22日

(51) Int.Cl.⁸
G 0 1 B 11/24
G 0 6 T 7/00

F I
G 0 1 B 11/24
G 0 6 F 15/62
K
C
4 1 5

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-349952

(22) 出願日 平成9年(1997)12月4日

(71) 出願人 000002082

スズキ株式会社

静岡県浜松市高塚町300番地

(72) 発明者 武士 正美

神奈川県横浜市都筑区桜並木2番1号 ス

ズキ株式会社技術研究所内

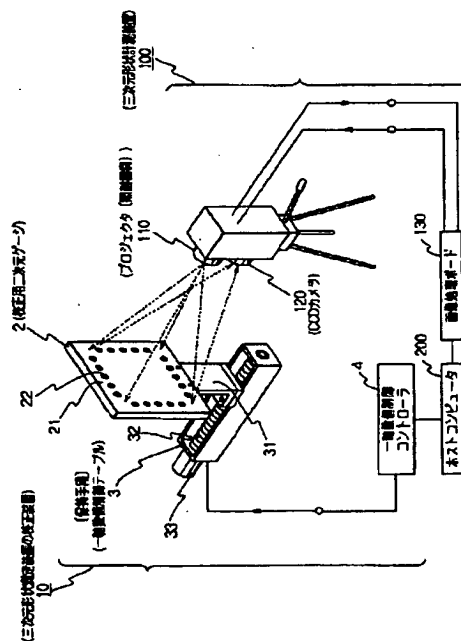
(74) 代理人 弁理士 高橋 勇

(54) 【発明の名称】 三次元形状計測装置の校正方法及び校正装置

(57) 【要約】

【課題】 校正の精度向上を課題とする。

【解決手段】 測定対象物に対してパターン光を照射する照射機構 110 と、測定対象物を撮像するカメラ 120 と、撮像画像から三次元画像データを算出する算出手段 130 とを備える三次元形状計測装置 100 の校正方法において、一平面 21 上に既知の配置で複数の指標 22 を付したゲージ 2 を、既知の移動量で複数回移動させ、この移動ごとにゲージ 2 の一平面 21 に照射光を照射し撮像して、各指標 21 により示される三次元座標系上の位置座標とこれら位置座標に対応する撮像画像の二次元座標系上の位置座標とからカメラパラメータを求めると共に、この三次元座標系上の位置座標とこれら位置座標の位置を照射する一次元座標系上の位置座標とからプロジェクタパラメータを求める。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 測定対象物に対して一定の一次元方向について位置座標を付するための照射光を照射する照射機構と、前記照射光を照射された測定対象物を撮像するカメラと、このカメラによる撮像画像から測定対象物の三次元画像データを算出する算出手段とを備える三次元形状計測装置であって、

前記算出手段における三次元画像データを作成するための、カメラ座標系の位置座標と前記測定対象物の実際の物体座標系の位置座標との関連を示すカメラパラメータと、前記照射光により付する位置座標と前記測定対象物の実際の物体座標系の位置座標との関連を示すプロジェクタパラメータとを実測により特定する三次元形状計測装置の校正方法において、

平滑な一平面上に既知の配置で複数の指標を付したゲージを、前記カメラに正対して配置し、

このゲージを前記一平面と垂直な方向に既知の移動量で複数回移動させ、

この移動ごとに前記ゲージの一平面に前記照射機構により照射光を照射すると共に当該一平面を前記カメラにより撮像し、

前記各指標により示される三次元座標系上の位置座標とこれら位置座標に対応する前記撮像画像の二次元座標系上の位置座標とから前記カメラパラメータを求めると共に、

前記各指標により示される三次元座標系上の位置座標とこれら位置座標の位置を照射する一次元座標系上の位置座標とから前記プロジェクタパラメータを求めることを特徴とする三次元形状計測装置の校正方法。

【請求項 2】 測定対象物に対して一定の一次元方向について位置座標を付するための照射光を照射する照射機構と、前記照射光を照射された測定対象物を撮像するカメラと、このカメラによる撮像画像から測定対象物の三次元画像データを算出する算出手段とを備える三次元形状計測装置の校正装置において、

前記カメラと正対し、平滑な一平面上に既知の配置で複数の指標を付したゲージと、

このゲージをその一平面と垂直な方向に移動自在に保持する保持手段と、

この保持手段に装備され、前記ゲージの移動量を調節する調節手段とを備えることを特徴とする三次元形状計測装置の校正装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、三次元形状計測装置の校正方法及び校正装置に係り、特に、製品の立体形状検査、寸法測定、組立用位置決め等の一般にロボット・ビジョンと呼ばれる分野又は四輪車、二輪車等のクレイモデルの形状のCADへの取り込み装置に利用される三次元形状計測装置の校正方法及び校正装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般的な三次元形状の計測方法を図4に基づいて説明する。図4に示す時系列空間コード化法では、測定対象物を含む空間をカメラにより撮像し、位相、ピッチの異なるいくつかの照射光のストライプパターンを投影して空間をコード化し、分割された各測定空間の投光角度を求め、カメラの撮像画像の位置座標との関係により三次元位置の計測を行う。

【0003】例えば、空間を256本に空間をコード化する場合、順番に2ⁿ (n=0, 1, 2, 3...) 本に空間を分割するストライプパターンを照射し、撮像する(図4(C))。256=2⁸のため、八回の撮像が行われる。このとき、撮像画像を256の位置座標に仕切り、各撮像ごとに、各座標位置において、明領域に1、暗領域に0を記録する。これにより、各座標位置に八桁の二進数からなる空間コードが完成する。この空間コードによりストライプパターンの投光角度が分かり、当該位置座標と投光角度との関係からカメラと各位置座標に対応する空間までの距離が算出され、三次元計測が行われる(例えば、「三次元画像計測、井口征士、佐藤宏介、1992、昭晃堂」)。

【0004】この三次元計測法では、いずれも、測定対象物に対してストライプパターンの照射光を当てるプロジェクタと撮像を行うカメラとを備えており、カメラ座標系、プロジェクタ座標系及び求めるべき測定対象物の物体座標系の三つが相互に関連して存在する。測定にあたっては、カメラ座標系とプロジェクタ座標系の二つが特定され、これらに基づいて物体座標系が算出される。

【0005】一般に、カメラにはCCDカメラが用いられることが多く、撮像画面は平面状のCCD撮像センサにより検出される。このためカメラ座標系は、X_c-Y_cの二次元座標系によって得られる。物体座標系とこのカメラ座標系との関係を同次座標系表現で表すと、次式(1)のように表される。ここで、物体座標系をカメラ座標系に変換する行列Cをカメラパラメータという。

【0006】

【数1】

$$\begin{bmatrix} H_c X_c \\ H_c Y_c \\ H_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{----- (1)}$$

【0007】一方、プロジェクタは、一次元方向の変位をを求めるため、得られる座標系はX_pの一次元のみであ

る。このプロジェクタ座標系と物体座標系との関係を同次座標系表現で表すと、次式 (2) のように表される。ここで、物体座標系をプロジェクタ座標系に変換する行

列 P をプロジェクタパラメータという。

【0008】

【数2】

$$\begin{bmatrix} H_p X_p \\ H_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{----- (2)}$$

【0009】これら各パラメータを展開し、連立して整理することにより、次式 (3), (4), (5) の関係が求められる。

【0010】

10 【数3】

$$\begin{cases} F = \begin{bmatrix} C_{34}X_c - C_{14} \\ C_{34}Y_c - C_{24} \\ P_{24}X_p - P_{14} \end{bmatrix} \\ Q = \begin{bmatrix} C_{11}-C_{31}X_c & C_{12}-C_{32}X_c & C_{13}-C_{33}X_c \\ C_{21}-C_{31}X_c & C_{22}-C_{32}Y_c & C_{23}-C_{33}Y_c \\ P_{11}-P_{21}X_p & P_{12}-P_{22}X_p & P_{13}-P_{23}X_p \end{bmatrix} \\ V = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \end{cases} \quad \text{---- (3)}$$

$$F = Q \cdot V \quad \text{---- (4)}$$

$$V = Q^{-1} \cdot F \quad \text{---- (5)}$$

【0011】従って、行列 Q に逆行列が存在すれば、カメラ座標系 (X_c, Y_c) 及びプロジェクタ座標系 X_p から物体座標系 $V = (X, Y, Z)$ を求められる。前述した各手法により三次元形状の測定を行う場合には、この行列 Q を求めるために、前述したカメラパラメータ及びプロジェクタパラメータを予め求める必要がある。

【0012】各パラメータは、カメラとプロジェクタとの間の距離及び姿勢、カメラのレンズの焦点距離等を計測することにより算出することも可能であるが、時間と手間を要し、また精度が劣るという問題がある。そこで通常は、図 5 (A) に示すような三次元形状が既知の基準となる基準立方体 B を計測して各パラメータを特定する手法を採っている。この基準立方体 B の各面の境界となる各辺に均等に目盛り状の指標部が付されている。

【0013】この手法では、まず、CCD カメラで基準立方体 B の明暗画像とスリットプロジェクタで空間コー

ド化法によりコード化画像を取り込む。そして、明暗画像を二値化して指標部を取り出し、各立方体の面内で相対する指標同士を仮想的に結んで格子状に得られるその交点を基準点 (X_i, Y_i, Z_i) として抽出する (図 3 (B))。

【0014】カメラパラメータを算出する場合には、この物体座標系上の基準点 (既知) の位置座標と、撮像画像上の CCD カメラのイメージセンサ上における画素位置 (カメラ座標系上の位置座標 (X_{ci}, Y_{ci})) をペアで記憶する。

【0015】この物体座標系上の基準点の位置座標 (X_i, Y_i, Z_i) とカメラ座標系上の位置座標 (X_{ci}, Y_{ci}) との間には、前述の式 (3), (4) から求まる次式 (6), (7) の関係が成立する。

【0016】

【数4】

$$C_{11}X_i + C_{12}Y_i + C_{13}Z_i + C_{14} - C_{31}X_{ci} - C_{32}Y_{ci} - C_{33}Z_{ci} - C_{34}X_{ci} = 0 \quad \text{---- (6)}$$

$$C_{21}X_i + C_{22}Y_i + C_{23}Z_i + C_{24} - C_{31}X_{ci} - C_{32}Y_{ci} - C_{33}Z_{ci} - C_{34}Y_{ci} = 0 \quad \text{---- (7)}$$

【0017】各式 (6), (7) の $C_{11} \cdots C_{14} \cdots C_{34}$ の合計 12 の未知数を求めるには、少なくとも同一平面上

にない少なくとも六つ以上の基準点についてカメラ座標系上の点を検出する必要がある。上式 (6), (7) か

ら、 n 個の基準点を撮像した場合の各基準点ごとに対応するカメラ座標系上の検出点との関係は、 $C_{11}=1$ として、次式(8)のように示される。

【0018】
【数5】

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_1X_{C1} - Y_1Y_{C1} - Z_1Z_{C1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -X_1Y_{C1} - Y_1Y_{C1} - Z_1Y_{C1} \\ & & & & & & & & \dots \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_nX_{Cn} - Y_nY_{Cn} - Z_nZ_{Cn} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -X_nY_{Cn} - Y_nY_{Cn} - Z_nY_{Cn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{11} \\ C_{12} \\ \dots \\ C_{32} \\ C_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{C1} \\ Y_{C1} \\ \dots \\ X_{Cn} \\ Y_{Cn} \end{bmatrix} \quad \text{---- (8)}$$

$$A \cdot C = R \quad \text{---- (9)}$$

$$C = (A^T A)^{-1} A^T R \quad \text{---- (10)}$$

【0019】式(8)の各行列を上式(9)のように表した場合、行列 $C = [C_{11} \dots C_{1n} \dots C_{31} \dots C_{3n}]^T$ は、最小自乗法によって上式(10)によって求められる。

【0020】また、プロジェクタパラメータを算出する場合には、物体座標系上の基準点 (X_i, Y_i, Z_i) とこれに対応するプロジェクタ座標 X_{pi} をペアで記憶する。プロジェクタ座標 X_{pi} は、空間コード化画像のコー

ド値から求められる。これら物体座標系上の点 (X_i, Y_i, Z_i) とプロジェクタ座標 X_{pi} の間には、前述の式(3)、(4)から求まる次式(11)の関係が成立する。

20 【0021】
【数6】

$$P_{11}X_i + P_{12}Y_i + P_{13}Z_i + P_{14} - P_{21}X_{pi} - P_{22}X_{pi}Y_i - P_{23}X_{pi}Z_i - P_{24}X_{pi} = 0 \quad \text{---- (11)}$$

【0022】上式(11)の $P_{11} \sim P_{24}$ の合計八つの未知数を求めるには、少なくとも同一平面上にない少なくとも八つ以上の基準点とこれに対応するプロジェクタ座標 X_{pi} を検出する必要がある。上式(11)から、 n 個の基準点とこれに対応するプロジェクタ座標 X_{pi} との関

係は、 $P_{11}=1$ として、次式(12)のように示される。

【0023】
【数7】

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -X_1X_{p1} - Y_1Y_{p1} - Z_1Z_{p1} \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & -X_2X_{p2} - Y_2Y_{p2} - Z_2Z_{p2} \\ & & & & \dots \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & -X_nX_{pn} - Y_nY_{pn} - Z_nZ_{pn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{12} \\ \dots \\ P_{24} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{p1} \\ X_{p2} \\ \dots \\ X_{pn} \end{bmatrix} \quad \text{---- (12)}$$

$$B \cdot P = S \quad \text{---- (13)}$$

$$P = (B^T B)^{-1} B^T S \quad \text{---- (14)}$$

【0024】式(12)の各行列を上式(13)のように表した場合、行列 $P = [P_{11} \dots P_{24}]^T$ は、最小自乗法によって上式(14)によって求められる。

【0025】このようにして求められたカメラパラメータとプロジェクタパラメータとにより、求めるべき測定対象物の三次元形状の計測が行われる。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の三次元形状の計測における校正方法には、以下の不都合

が生じていた。

【0027】1. 高精度三次元加工が施された基準立方体を必要とし、その作成が容易でないこと。

2. 立方体の三面しか測定器の視野に入らないため、立方体内部の点を基準に取ることができないので空間的に偏った基準点を用いることになり、校正の精度に限界があること。

3. 奥行きを持った立方体には明暗画像入力時に、各面ごとに照明の偏りが生じるため、表面の全指標を画像処

理で正確に抽出することが極めて困難であること。

4. 立体表面に設けられた指標を抽出した後、それが立方体のどの位置に対応するかを識別するための画像処理を実施することが困難であること。これを軽減するため指標に線状の形状を与えているが、細線化処理などの複雑な処理が必要となること。

【0028】

【発明の目的】本発明は、かかる従来例の有する不都合を改善し、基準点の空間の偏り及び撮像時の照明の偏りを排除して校正し得る三次元形状計測装置の校正方法及び校正装置を提供することを、その目的とする。

【0029】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明では、測定対象物に対して一定の一次元方向について位置座標を付する照射光を照射する照射機構と、照射光を照射された測定対象物を撮像するカメラと、このカメラによる撮像画像から測定対象物の三次元画像データを算出する算出手段とを備える三次元形状計測装置の校正方法であって、算出手段における三次元画像データを作成するための、カメラ座標系の位置座標と測定対象物の実際の物体座標系の位置座標との関連を示すカメラパラメータと、照射光により付する位置座標と測定対象物の実際の物体座標系の位置座標との関連を示すプロジェクタパラメータとを実測により特定する三次元形状計測装置の校正方法において、平滑な一平面上に既知の配置で複数の指標を付したゲージを、カメラに正対して配置し、このゲージを一平面に垂直な方向に既知の移動量で移動させ、移動するごとにゲージの一平面をカメラにより撮像し、各指標により示される三次元座標系上の位置座標とこれら位置座標に対応する撮像画像の二次元座標系上の位置座標とからカメラパラメータを求め、移動するごとにゲージの一平面に照射機構により照射光を照射し、各指標により示される三次元座標系上の位置座標とこれら位置座標の位置を照射する一次元座標系上の位置座標とからプロジェクタパラメータを求める手法を採っている。

【0030】上記構成では、三次元形状計測装置による測定前において、カメラの撮像範囲内にゲージを配置する。このとき、ゲージはその一平面をカメラ側に向けて配置され、既知の移動量でゲージの位置を複数回変え、各位置ごとにカメラによる撮像を行う。

【0031】ゲージの各指標により示される複数の基準点は、二次元たる平面上に配置されてなるものであるが、その平面の垂直方向にゲージが移動することにより、各基準点が三次元空間上に展開されることになる。そして、複数の基準点は平面上でその配置が既知の距離間隔で分布しており、移動量も既知であるため、移動前後の全ての点について三次元座標系上の位置座標は既知となる。この三次元座標系を物体座標系とする。

【0032】移動前後の各基準点は全てカメラに撮像さ

れ、各基準点ごとに撮像画面上の二次元座標系（カメラ座標系とする）の位置座標が付される。これにより、前述した式（8）に基づき、また、撮像した基準点の数が多い場合には最小自乗法により、カメラパラメータを求める。

【0033】また、ゲージは、既知の移動量で位置を複数回変えるごとに照射機構により照射光が照射される。このとき照射される照射光は、例えば、各位置ごとに空間コードを得るために複数回照射されるストライプ状のパターン光や、一定方向に走査されるスリット光のように、一次元方向の位置情報が得られるものであれば良い。

【0034】物体座標系の各基準点には、照射光により得られた各基準点ごとの一次元座標系（プロジェクタ座標系とする）の位置座標が付される。これにより、前述した式（12）に基づき、また、撮像した点の数が多い場合には最小自乗法により、プロジェクタパラメータを求める。

【0035】請求項2記載の発明は、測定対象物に対して一定の一次元方向について位置座標を付する照射光を照射する照射機構と、照射光を照射された測定対象物を撮像するカメラと、このカメラによる撮像画像から測定対象物の三次元画像データを算出する算出手段とを備える三次元形状計測装置の校正装置において、カメラと正対し、平滑な一平面上に既知の配置で複数の指標を付したゲージと、このゲージをその一平面に垂直な方向に移動自在に保持する保持手段と、この保持手段に装備され、ゲージの移動量を調節する調節手段とを備えるという構成を採っている。

【0036】上述の保持手段は、ゲージの移動量、調節手段により保持手段を介して行い、これに対する三次元形状計測装置の動作は請求項1記載の発明の場合と同様に行われる。

【0037】

【発明の実施の形態】本発明の一実施形態を図1乃至図4に基づいて説明する。この実施形態は、三次元形状計測装置100の校正を行うために、この三次元形状計測装置100と、物体座標形状にサンプルとなる基準点を展開する校正装置10と、これらの動作制御を行うホストコンピュータ200とからなる自動校正システムを示している（図1）。

【0038】三次元形状計測装置100は、測定対象物に対して一定の一次元方向について位置座標を付する照射光を照射する照射機構としてのプロジェクタ110

と、照射光を照射された測定対象物を撮像するカメラとしてのCCDカメラ120と、このカメラ120による撮像画像から測定対象物の三次元画像データを算出する算出手段としての画像処理ボード130とを備えており、時系列空間コード化法により三次元形状計測を行うものである。

【0039】プロジェクタ110は、ストライプ状のパターン光をピッチを変えて照射することが可能であり、ホストコンピュータ200により照射タイミングやパターン光のピッチの指定等の動作制御が行われる。また、一次元座標系たるプロジェクタ座標系は、ストライプの並び方向（パターン光を垂直に横切る方向）に形成される。

【0040】CCDカメラ120は、内部に備えた図示しないCCD撮像センサによって撮像を行う。このCCD撮像センサは、平面状に配置された無数の画素からなり、各画素は受光した光の輝度に応じて輝度信号を出力する。二次元座標系たるカメラ座標系は、このCCD撮像センサの平面に対応して形成され、各画素の位置が座標系の位置座標に対応する。

【0041】画像処理ボード130は、プロジェクタ110とCCDカメラ120の同期を図り、また、CCDカメラ120の出力に基づいて三次元形状データを算出する。

【0042】次に、三次元形状計測装置の校正装置10について説明する。この校正装置10は、平滑な一平面21上に既知の配置で複数の指標22を付した校正用二次元ゲージ2と、このゲージ2をその一平面21に垂直な方向に移動自在に保持する保持手段としての一軸数値制御テーブル3と、この一軸数値制御テーブル3に装備され、校正用二次元ゲージ2の移動量を調節する調節手段としての一軸数値制御コントローラ4とを備えている。

【0043】校正用二次元ゲージ2は、図1に示すように、正方形の一平面21を有し、この一平面21がCCDカメラ120及びプロジェクタ110に正対するように一軸数値制御テーブル3に保持されている（CCDカメラ120の対物レンズの光軸と一平面21の法線とが平行）。即ち、これにより、一平面21に対してプロジェクタ110からパターン光の照射が行われ、CCDカメラ120は一平面21における明暗画像の撮像ができ、ホストコンピュータ200では、後述する三次元座標データを画像処理ボード130を介して得ることができる。

【0044】三次元座標系である物体座標系は、校正用二次元ゲージ2を基準にして設定される。即ち、図1の位置（この位置を現位置とする）にある校正用二次元ゲージ2において、図2（A）に示すように、座標系のX軸は一平面21の左上方の角を原点として水平右方向に設定され、座標系のY軸は一平面21の同じ角を原点として垂直下方向に設定されている。また、座標系のZ軸は、図2（B）に示すように、一平面21の同じ角を原点として当該一平面21の法線方向に沿ってCCDカメラ120と反対側に向けて設定されている。

【0045】さらに、校正用二次元ゲージ2の一平面21上は白色に彩られ、その上に基準点23を決定する黒

点である指標22が付されている。指標22は、図2

（A）の如く、X軸、Y軸と各辺を平行とした正方形の四辺上に五つずつ等ピッチpで配列されている。互いに対向する辺上にある各指標は、それぞれが他方の辺上にある指標と対応しており、図2（A）の点線で示すように、対応する二つの指標は、X軸又はY軸に平行な直線で結ばれる。この対応する指標を結ぶ各直線の交点が基準点23となる。これら基準点23は、一平面21上に昇目状に $5 \times 5 = 25$ 個が展開される。各指標21は、前述した物体座標系において、いずれも既知の位置座標上に位置しており、これに伴い、各基準点23の位置座標も既知となる。

【0046】一軸数値制御テーブル3は、校正用二次元ゲージ2の保持部材31と、これと係合しZ軸方向に保持部材31を送るボールネジ32と、ボールネジ32を一軸数値制御コントローラ4による数値制御のもとで駆動するステッピングモータ33とを備えている。

【0047】一軸数値制御コントローラ4は、ホストコンピュータ200からのZ方向の送り量の数値入力を受けて、これに対応する駆動量でステッピングモータ33を駆動制御し、校正用二次元ゲージ2をZ方向について任意の位置に位置決めすることができる。通常、校正の際に一軸数値制御テーブル3は、校正用二次元ゲージ2の送り方向をCCDカメラ120の対物レンズの光軸と平行にして置かれ、当該校正用二次元ゲージ2を、Z方向について、基準点23のピッチpと等しい送り量で現位置から四回送る。

【0048】ホストコンピュータ200は、三次元形状計測装置100及び校正装置10の動作制御を行うと共に測定情報の演算を行う。図3に示す三次元形状計測装置の自動校正システムの動作は、全て、このホストコンピュータ200に予め入力されたプログラムによって行われるものである。

【0049】図3は、本実施形態の動作を示すフローチャートである。以下、これに基づいて本実施形態の三次元形状計測に先だて行われる三次元形状計測装置100の校正動作を説明する。

【0050】ホストコンピュータ200に記憶される変数ステップを0に初期化する（工程S1）。

【0051】そして、三次元形状計測装置100のプロジェクタ110から出力されるレーザ光を連続的に投影し、校正用二次元ゲージ2の一平面上に付された各指標の画像をCCDカメラ120によって取り込み明暗画像を得る。これにより、ホストコンピュータ200は、その記憶領域に二次座標系たるカメラ座標系 X_c, Y_c を設定する（工程S2）。

【0052】次に、プロジェクタ110からグレイコードパターン（ストライプ上のパターン光）を順次照射して空間コード化画像をCCDカメラ120により撮像する。ホストコンピュータ200は、取り込まれた画像が

ら空間コードを得て、これにより記憶領域に一次元座標系たるプロジェクト座標系 X_p を設定する(工程 S 3)。

【0053】撮像した明暗画像を二値化し、円形たる各指標 2 2 の重心画素(中心)を求める(工程 S 4)。

【0054】ホストコンピュータ 200 では、正対する各々の指標 2 2 同士を結んだ直線の仮想交点を校正用の実座標基準点 2 3 として計算により求める(工程 S 5)。

【0055】そして、ホストコンピュータの記憶領域において、各基準点 2 3 のカメラ座標系上の位置座標($X_c, -Y_c$)とプロジェクト座標形状の位置座標 X_p をそれぞれ対応させてデータとして記憶する(工程 S 6)。

【0056】ホストコンピュータ 200 では、ステップをインクリメントして(工程 S 7)、校正用二次元ゲージ 2 をピッチ p の距離だけ Z 方向に移動させる(工程 S 8)。

【0057】校正用二次元ゲージ 2 の撮像が五回行われたか、即ち、Z 軸方向の移動が四回行われたかを確認し(工程 S 9)、もし目標回数を達していなければ工程 S 2 から工程 S 8 の動作を繰り返す。また、達していれば、記憶された上記データを基に、前述した式(8)～(14)を用いて、カメラパラメータとプロジェクトパラメータを求めてシステムパラメータを計算する(工程 S 10)。そして、これにより校正が終了する。

【0058】以上のように、本実施形態では、平滑な一平面 2 1 のみに指標 2 2 を付してなる校正用二次元ゲージ 2 を使用するため、従来使用されていたような高精度三次元加工が施された基準立方体を不要とし、その作成が作業労力を軽減することが可能である。

【0059】また、従来の基準立方体は、カメラと正対する三面しか撮像できなかったが、本実施形態では、基準点 2 3 が存在する校正用二次元ゲージ 2 を法線方向に移動させることにより、実質的に、立体表面の全ての点のみならず内部の点までを撮像可能とするため、空間的に偏りのない基準点を用いることができ、校正の精度の向上を図ることが可能である。

【0060】さらに、従来の基準立方体では撮像する各面ごとに照明の偏りが生じていたが、本実施形態では、カメラ 1 20 に対して常に校正用二次元ゲージ 2 の一平面 2 1 を同じ向きに維持するため、一平面 2 1 上の全指標 2 2 を画像処理で正確に抽出することが容易となり、したがって基準点 2 3 を既知の位置通りに認識することができ、校正の精度をさらに向上させることが可能である。

【0061】また、従来の基準立方体では、撮像後、立体表面に設けられた指標を抽出した後、それが立方体のどの面のどの位置に対応するかを識別するための画像処理を実施することが困難であったが、本実施形態は、一平面上に全ての指標が付されていること、校正用二次元

ゲージ 2 の移動量の認識は容易であること等の理由から、複雑な画像処理を不要とし、処理に要するホストコンピュータ 200 のメモリの軽減、処理時間の迅速化を図ることが可能である。

05 【0062】なお、本実施形態では、三次元形状計測装置の校正装置 10 にホストコンピュータ 200 を併設し、これにより各部の動作制御、データの記録及びデータの処理を行っているが、三次元形状計測装置の校正装置 10 にホストコンピュータ 200 の各機能を行う動作制御部を設けても良い。

10 【0063】また、本実施形態では、空間コード化法に基づいて三次元形状の計測を行う三次元形状計測装置 100 に対する校正作業を行う例を示したが、三次元形状計測装置の校正装置 10 は、これに限定されるものではなく、例えば、一つのスリット光の走査により三次元形状の計測を行う計測装置や他の手法に基づく計測装置に対しても有効である。

15 【0064】また、校正用二次元ゲージ 2 の一平面 2 1 上に付された指標の数及び配置は、既知であれば、特に限定するものではない。同様に、Z 軸方向への送り量及び送り回数も既知であれば特に限定されるものではない。なお、指標の数及び送り回数は、演算処理時間との関係で許容される範囲で、増加させることが望ましい。

25 【0065】
【発明の効果】本願発明は、平滑な一平面のみに指標を付してなるゲージを使用するため、従来使用されていたような高精度三次元加工が施された基準立方体を不要とし、その作成が作業労力を軽減することが可能である。

30 【0066】また、従来の基準立方体は、カメラと正対する三面しか撮像できなかったが、本願発明では、基準点が存在する校正用二次元ゲージを法線方向に移動させることにより、実質的に、立体表面の全ての点のみならず内部の点までを撮像可能とするため、空間的に偏りのない基準点を用いることができ、校正の精度の向上を図ることが可能である。

35 【0067】さらに、従来の基準立方体では撮像する各面ごとに照明の偏りが生じていたが、本実施形態では、カメラに対して常にゲージの一平面を同じ向きに維持するため、一平面上の全指標を画像処理で正確に抽出することが容易となり、したがって基準点を既知の位置通りに認識することができ、校正の精度をさらに向上させることが可能である。

40 【0068】また、従来の基準立方体では、撮像後、立体表面に設けられた指標を抽出した後、それが立方体のどの面のどの位置に対応するかを識別するための画像処理を実施することが困難であったが、本願発明は、一平面上に全ての指標が付されていること、ゲージの移動量の認識は容易であること等の理由から、複雑な画像処理を不要とし、例えば、演算処理をコンピュータ等により

行う場合に、その使用メモリの軽減、処理時間の迅速化を図ることが可能である。

【0069】本発明は以上のように構成され機能するので、これによると、従来にない優れた三次元形状計測装置の校正方法及び装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態を示すブロック図である。

【図2】図1に開示した校正用二次元ゲージを示し、図2（A）は正面図を示し、図2（B）は側面図を示す。

【図3】本発明の実施形態の動作を示すフローチャートである。

【図4】空間コード化法による三次元形状計測の方法を示し、図4（A）は計測方法のブロック図であり、図4（B）は図4（A）の構成を上方からみた図であり、図4（C）はパターン光と空間コードの対応を説明する図である。

【図5】図5（A）は従来の三次元形状計測装置の校正に使用されていた基準立方体を示す斜視図であり、図5（B）はその表面に形成される仮想基準点を示す説明図である。

05 【符号の説明】

2 校正用二次元ゲージ

3 一軸数値制御テーブル（保持手段）

4 一軸数値制御コントローラ（調整手段）

10 三次元形状計測装置の校正装置

10 21 一平面

22 指標

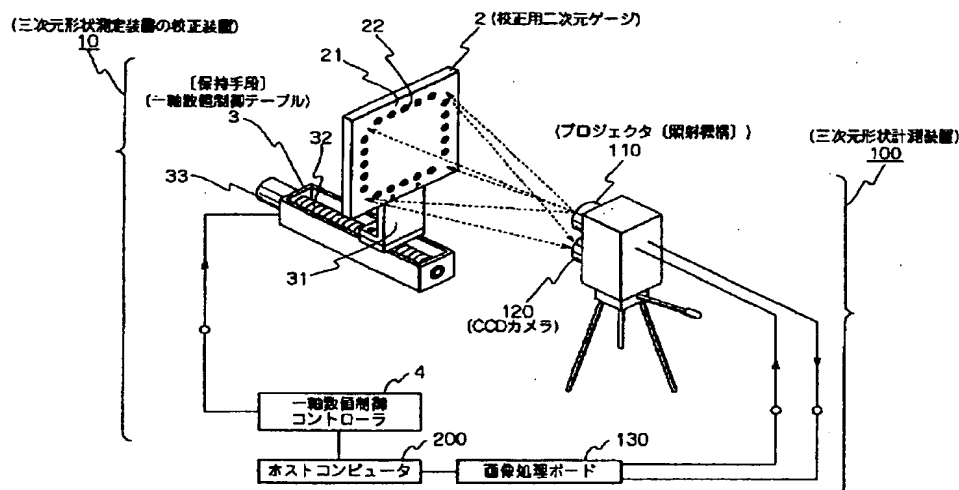
100 三次元形状計測装置

110 プロジェクタ（照射機構）

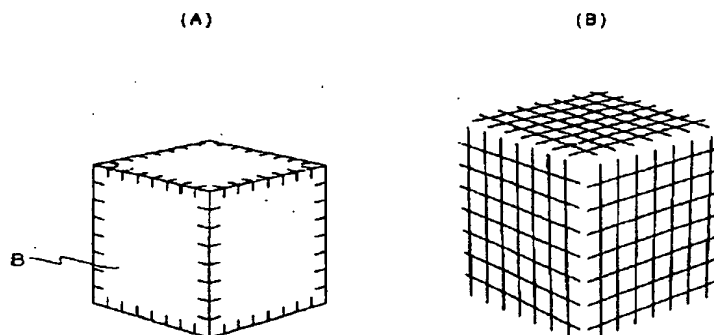
120 CCDカメラ（カメラ）

15 130 画像処理ボード（算出手段）

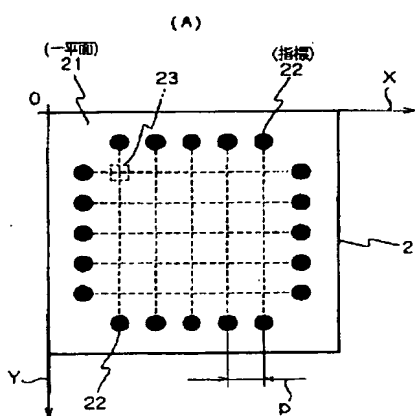
【図1】



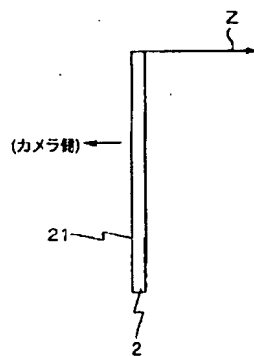
【図5】



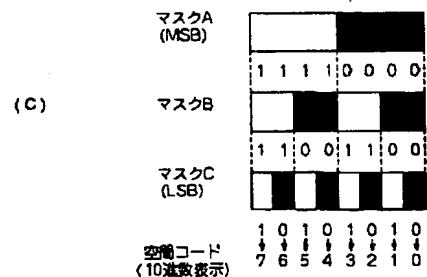
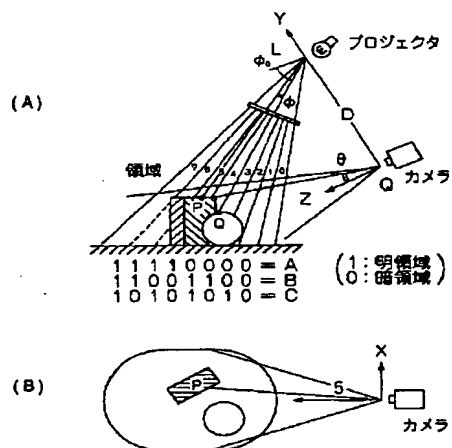
【図 2】



(B)



【図4】



【図 3】

